



Ville Hattukangas

Tornitalon LVI-suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
21.5.2012

Tekijä Otsikko	Ville Hattukangas Tornitalon LVI-suunnittelu
Sivumäärä Aika	29 sivua + 1 liite 21.5.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	DI suunnittelupäällikkö Pertti Kauhanen yliopettaja Olli Jalonen
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää ja kartoittaa korkean rakennuksen LVI-suunnittelussa huomioonotettavia haasteita ja ongelmakohtia. Työssä käsitellään lämmityksen, ilmanvaihdon ja käyttöveden suunnittelua ja ongelmiin käytettyjä ratkaisuja tavanomaista korkeammissa rakennuksissa. Työssä on jätetty tutkimatta jäähdytyksen, savunpoiston sekä sprinklerisuunnittelun haasteet korkeassa rakentamisessa. Jäähdytysjärjestelmissä ovat lähes samat ongelmat lämmitysjärjestelmien kanssa. Insinöörityössä käydään läpi myös yleinen systemaattinen mitoitusjärjestys LVI-järjestelmille.</p> <p>Työssä käsiteltäviä ongelmia ovat esimerkiksi lämmitysjärjestelmän suunnittelussa korkeaan rakennukseen huomioitava paisuntasäiliön sijoituspaikka, sekä verkoston jakaminen osiin sopivin kerrosvälein paineenkeston vuoksi. Ilmanvaihdoissa huomioitavana ovat muun muassa tuulen ja hormivaikutuksen aiheuttamat erot painesuhteisiin, rakennuksen sisä- ja ulkoilman välillä. Käyttöveden suunnittelua ohjaa korkeudesta johtuvan vesipatsaan tuoma staattinen paine, jonka takia on syytä harkita paineenkorotusasemien suunnittelua sopivin kerrosvälein.</p> <p>Suomessa on LVI-suunnittelijoille korkeasta rakentamisesta toistaiseksi vielä vähäisesti materiaalia, joten insinöörityöllä halutaan antaa näille suunnittelijoille perustietoa korkean rakentamisen haasteista. Ulkomailla tornitalojen rakentaminen on yleisempää, joten osa insinöörityöhön käytetystä materiaalistakin on englanninkielistä.</p>	
Avainsanat	tornitalo, korkea rakennus, talotekniikka, LVI, mitoitus, paineenkorotus

Author Title	Ville Hattukangas HVAC Design in Tall Buildings
Number of Pages Date	29 pages + 1 appendix 21 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructors	Pertti Kauhanen, Engineering Manager Olli Jalonen, Principal Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to examine and exhibit the challenges and problems that need to be taken into account when designing HVAC for a high-rise building. The Bachelor's thesis covered heating, ventilation and hot water designing for tall buildings. The goal of the project was to give Finnish HVAC designers some ideas of what building services engineering for a high-rise building is all about.</p> <p>To get information and ideas for the project, foreign literature on the subject was read and co-workers were interviewed. The thesis discussed some formulas needed in calculations and a general systematic order of the design of HVAC systems.</p> <p>The results showed that there are many possibilities to solve the complexities met in a high-rise building. The project covered for instance the location of the expansion tank and the sectioning of the heating network, booster station planning in hot water applications and the chimney effect that affects the ventilation systems.</p> <p>In conclusion, the thesis made important observations of the complexities and possibilities in building services engineering. It gives the reader guidelines on how to solve problems faced when designing HVAC systems in a tower building. This Bachelor's thesis also left room for further investigation of the efficiencies and economical issues of the systems presented.</p>	
Keywords	tall building, HVAC, chimney effect, booster station, building services engineering

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Korkea rakentaminen Suomessa	1
3	Järjestelmät	4
3.1	Yleinen mitoitusjärjestys	6
3.2	Ilmanvaihto	10
3.3	Käyttövesi	18
3.4	Lämmitys	23
4	Yhteenveto	27
	Lähteet	28
	Liitteet	
	Liite 1. Tornitalon ilmanvaihdon esimerkkiperiaate	

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on esitellä ja tehdä lukijalle tutuksi LVI-järjestelmien yleistä mitoitusjärjestystä sekä korkeiden rakennusten LVI-suunnittelussa esiintyviä haasteita sekä niihin sovellettavia ratkaisuja. Työssä käydään läpi lämmityksen, ilmanvaihdon sekä vesisuunnittelun ongelmakohtia. Työssä ei tutustuta sprinklereiden tai savunpoiston suunnitteluun. Insinööriyön tekoon löytyy Suomesta vain niukasti lähdemateriaalia, johtuen korkean rakentamisen vähäisyydestä. Ulkomaista materiaalia tornirakentamisesta löytyy enemmän, ja insinööriyössä onkin käytetty muun muassa ASHRAE:n (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) kirjallisuutta.

Korkeaa rakentamista on harjoitettu ulkomailla suuressa mittakaavassa jo 1900-luvun puolivälistä lähtien, mutta Suomessa aihe on tullut ajankohtaiseksi vasta noin puoli vuosisataa myöhemmin. Kehitys on väestönkasvun myötä Suomessakin, varsinkin pääkaupunkiseudulla, suuntautumassa hiljalleen kohti entistä korkeampaa rakentamista, joten tietotaitoa tarvittaneen tällä osa-alueella tulevaisuudessa selvästi aiempaa enemmän. Tämän insinööriyön lukijalle tulisi jäädä jonkinlainen käsitys siitä, minkälaisia haasteita ylöspäin rakentaessa esiintyy, sekä miten näitä haasteita voidaan ratkaista.

2 Korkea rakentaminen Suomessa

Palomääräyksistä ja kaavoituksesta johtuen Suomessa on 70-, 80- ja 90-luvuilla rakennettu lähes pelkästään korkeintaan 8-12 kerroksisia rakennuksia, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. 2000-luvulla alkoi nousta pääkaupunkiseudulle yli 12-kerroksisia asuinrakennuksia, ja vuonna 2005 tornitaloja olikin jo noin 50, joista korkeimpana oli Vuosaaren Cirrus. Yli 12-kerroksiset rakennukset luokitellaan Suomessa tornitaloiksi. Varsinaisia pilvenpiirtäjiä Suomessa ei ainakaan toistaiseksi vielä ole. Epävirallisen määritelmän mukaan pilvenpiirtäjän rajakorkeus on 150 m, mutta tämä raja-arvo vaihtelee eri tahojen välillä. [1]

Korkein asuinrakennus Suomessa on vuonna 2006 valmistunut Vuosaaren tornitalo As Oy Helsingin Cirrus (kuva 1). Korkeutta Cirruksella on 87,5 metriä ja kerroksia on 26 + 2 kellarikerrosta + IV-konehuone. Huoneistoalaa rakennuksessa on 8 744 m². [2]



Kuva 1. Vuosaaren tornitalo, As Oy Helsingin Cirrus [29].

Korkein toimistorakennus Suomessa on vuonna 1978 valmistunut Espoon Keilaniemessä sijaitseva 20-kerroksinen ja 84 metriä korkea Fortumin pääkonttori (kuva 2). Rakennus tunnetaan myös nimillä Nesteen torni ja Raaden hammas.



Kuva 2. Fortumin pääkonttori, Fortum Oyj [30].

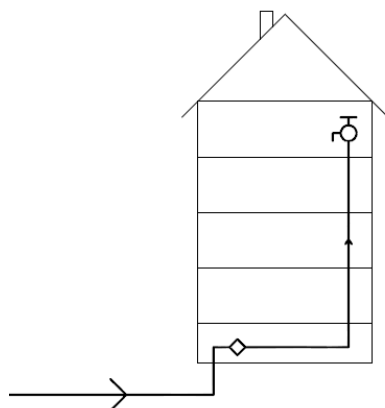
Espoon Keilaniemeen suunnitellaan SRV:n toimesta rakennettavan neljän tornin muodostelma, Keilaniemi Towers. Hankkeen tornit olisivat 32–40-kerroksisia asuinrakennuksia. Korkeimmat tornit yltäisivät jopa noin 120 metrin korkeuteen, ja valmistuessaan ne olisivat Suomen korkeimmat asuinrakennukset. Rakennusvaiheen yhteydessä myös valtavyöhyke Kehä I tullessiin siirtämään tunneliin Keilaniemen ja Tapiolan itärannan väliseltä alueelta. Rakennustyöt alkanevat 2012–2013. [15]

3 Järjestelmät

LVI-suunnittelun kaikilla osa-alueilla on noudatettava Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiä, sillä ne ovat velvoittavia. Niissä esiintyvät ohjeet sen sijaan eivät ole velvoittavia, vaan muunkinlaisia ratkaisuja voidaan käyttää, kunhan ne täyttävät rakentamiselle asetetut vaatimukset. Rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat ensisijaisesti uudisrakentamista varten, mutta myös korjaus- ja muutostöissä niitä voi joutua soveltavin osin noudattamaan. Erityisesti LVI ja energiatehokkuutta ohjaavat rakentamismääräyskokoelman osat D1–D7. Ääneneristystä ja meluntorjuntaa käsittelee Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1. [8]

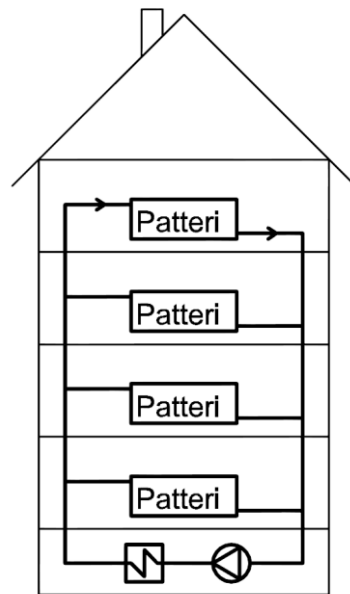
Putkistot voidaan jakaa rakenneperiaatteiltaan kahteen oleellisesti erilaiseen tyyppiin, joiden virtausteknisessä mitoituksessa on selkeä ero. Näiden nimitykset ovat avoin ja suljettu kiertopiiri ja niiden väliset erot ovat seuraavanlaiset:

- Avoin putkisto (kuva 3)
 - menojohtoa pitkin virrannut aine poistuu järjestelmästä
 - kiertopiireissä käytetään nimitystä reitti, koska ei palata lähtöpisteeseen takaisin
 - esim.
 - talousvesijärjestelmä
 - veden pumppaus korkeammalle tasolle
 - tulo- ja poistoilmakanavisto
 - pumppumitoituksessa staattinen nostokorkeus $\neq 0$



Kuva 3. Avoin putkisto. Esimerkkinä käyttövesi. [7]

- Suljettu kiertopiiri (kuva 4)
 - menojohdtoa pitkin virrannut aine palautetaan paluujohdossa takaisin järjestelmään
 - esim.
 - vesikiertoinen lämmitysverkosto
 - kaukolämpöverkosto
 - pumppumitoituksessa staattinen nostokorkeus = 0



Kuva 4. Suljettu kiertopiiri. Esimerkkinä vesikiertoinen patteriverkosto. [7]

Suljetun ja avoimen järjestelmän yksi suurimmista eroista ilmenee pumpun mitoituksessa. Suljetussa piirissä ylöspäin pumpattu vesi tulee myös alaspäin samassa verkostossa, joten pumpun on voitettava ainoastaan verkostosta syntyvät painehäviöt, ei vesipatsaasta johtuvaa staattista painetta. Suuren staattisen nostokorkeuden takia useita kymmeniä kerroksia korkean rakennuksen käyttövesijärjestelmä tarvitsee mahdollisesti useitakin paineenkorotusasemia ylöspäin mentäessä, ja lämmitysverkosto pitää jakaa useisiin verkostoihin, jotta laitteet kestävät.

3.1 Yleinen mitoitusjärjestys

Lämmitys-, vesi- ja ilmastointiverkostojen mitoituksen ja suunnittelun periaate ja järjestys on kaikille verkostoille suurin piirtein samanlainen niiden yhteisten ominaisuuksien vuoksi. Systemaattinen yleisohje suunnittelulle ja mitoitukselle LVI-tekniikassa etenee seuraavanlaisesti Esa-Matti Laihon putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteiden mukaan [7]:

1. Tehdään kulutustarvelaskelmat.
 - Lämpö
 - Huonekohtaiset lämmitystehon tarpeet
 - Vesi
 - Vesipisteelliset huonetilat
 - Ilma
 - Huonekohtaiset tulo/poistoilmavirrat
2. Sijoitetaan kulutuspisteet ja lähteet paikoilleen.
 - Lämpö
 - Lämmönluovuttimet (patterit) paikoilleen
 - Lämmönlähde (kattila, lämmönsiirrin) paikoilleen
 - Vesi
 - Vesikalusteet paikoilleen
 - Vesimittari/pumppu paikoilleen
 - Ilma
 - Tulo/poistoilmaelimet paikoilleen
 - Tulo/poistoilmakojeet paikoilleen
3. Suunnitellaan putkisto.
 - Lämpö
 - Yhdistetään lämmönluovuttimet putkistolla lämmönlähteeseen
 - Vesi
 - Yhdistetään vesikalusteet putkistolla vesimittariin/pumppuun
 - Ilma
 - Yhdistetään kanavistolla tulo/poistoilmaelimet tulo/poistoilmakojeisiin
4. Selvitetään putkistossa kuljetettava ainevirta/teho.
 - Lämpö
 - Lasketaan johtoa pitkin kuljetettavat tehot yhteen
 - Lasketaan tarvittaessa tehoista vesivirrat. (Kaava 1).

$$(q_v = \Phi / \rho c_p \Delta t) \quad (1)$$

jossa

q_v	vesivirta, dm ³ /s
Φ	teho, kW
ρ	nesteen tiheys, kg/dm ³
c_p	nesteen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C
Δt	lämpötilaero, °C
- Vesi
 - Lasketaan johtoa pitkin normivirtaamat q_N yhteen => Q

- Muunnetaan tarvittaessa normivirtaamien summat Q mitoitusvirtaamiksi q
 - Ilma
 - Lasketaan kanavaa pitkin tulo/poistoilmavirrat yhteen
 - Laskenta aloitetaan verkoston loppupäästä edeten lähteelle päin.
5. Jaetaan putkisto osiin.
- Putkisto-osien jakaminen voidaan tehdä samanaikaisesti ainevirtojen yhteenlaskun kanssa.
 - Numeroidaan putkisto-osat
 - Tunnistus laskijalle
 - Samalla putkisto-osalla,
 - kuljetettava ainevirta/teho sama
 - johtokoko ei muutu.
6. Valitaan johtokoko.
- Putkimateriaalista ja järjestelmästä riippuen valitaan putkikoko, jolla päästään sopivan virtausnopeuden ja painehäviön alueelle. (Taulukko 1.)
7. Tehdään tarvittavat painehäviölaskelmat.
- Putkisto-osuuksien painehäviöt kannattaa laskea ilman kertasäätöventtiilien ja pääte-elinten painehäviötä.
 - Tällöin saadaan kertasäätöventtiilien ja pääte-elimien tarvittavat kuristukset kätevästi vähennyslaskulla.
8. Valitaan vaikeimman kiertopiirin/reitin pääte-elimien ja mahdollisen kertasäätöventtiilin/pellin painehäviöt sopiviksi.
- Virtausteknisen stabiliteetin ("jämmäkkyyden") vuoksi pääte-elimillä on oltava riittävän suuri painehäviö Δp_{kur} .
 - Toisaalta vaikeimman kiertopiirin/reitin pääte-elimien suuri painehäviö on lisärasite pumpulle/puhaltimelle.
 - Δp_{kur} oltava kyseiseen putkistoon ja järjestelmän kokonaisuuteen nähden sopiva
 - Määritetään vaikeimman kiertopiirin/reitin pääte-elimien esisäätöarvo ES.
- $$\frac{q_v}{\Delta p_{kur}} \Rightarrow ES$$
9. Valitaan mahdollisen keskussäätöventtiilin painehäviö sopivaksi.
- Putkiston säätöventtiilillä täytyy olla riittävästi voimaa (painehäviötä), että se pystyisi säätämään ainevirtoja (kilpailemaan painehäviössä).
 - Yleisohje: $\Delta p_{TV} \geq$ kilpailevan piirin painehäviö
 - Toisaalta keskussäätöventtiilin suuri painehäviö on aina lisärasite pumpulle.
 - Δp_{TV} oltava kyseiseen putkistoon ja järjestelmän kokonaisuuteen nähden sopiva
 - Määritetään keskussäätöventtiilin mitoitusarvot.
- $$\frac{q_v}{\Delta p_{kur}} \Rightarrow k_v$$
10. Lasketaan pumpun/puhaltimen tarvitsema paine.
- Asian ratkaisee vaikeimman kiertopiirin/reitin kokonaispainehäviö.

11. Määritetään muiden kuin vaikeimman kiertopiirin/reitin pääte-elinten ja mahdollisten kertasäätöventtiilien/peltien painehäviöt.

- Lasketaan tarvittavat kuristukset
 - lähdetään pumpulta/puhaltimelta eteenpäin kohti laskettavaa pääte-elintä
 - vähennetään putkisto-osien painehäviöt kiertopiirissä/reitillä edetessä
 - saavuttaessa laskettavalle pääte-elimelle kaikki ylimääräinen paine on "tuhottava" kuristamalla
 - ⇒ tarvittava kuristus Δp_{kur}
 - määritetään kaikkien pääte-elimien (ja mahdollisten kertasäätöventtiilien) esisäätöarvot ES

$$\frac{q_v}{\Delta p_{kur}} \Rightarrow ES$$
 - nämä kuristukset olisi voitu periaatteessa määrittää jo kohdan 8. jälkeen, sillä kysymyshän on eri pääte-elinten keskinäisestä painehäviöllisestä tasa-arvoisuudesta. [7]

Taulukon 1 käyttövesijohtojen suurimmat hyväksytyt virtausnopeudet on annettu kupariputkille ottamalla huomioon virtauksesta johtuva eroosiokorroosio. Putkistojen suositeltavia virtausnopeuksia on käsitelty rakentamismääräyskokoelman osassa D1. Ääniteknisten syiden vuoksi voi olla syytä käyttää pienempiä virtausnopeuksia. [17; 21.]

Taulukko 1. Suositeltavia virtausnopeuksia eri putkistoille ja kanavistolle [7].

Putkisto	Virtausnopeus, m/s
Lämpöjohdot	0,1–1,0
Kaukolämpöjohdot	0,3–4,5
Kylmävesijohdot	
- jakojohdot	4,0
- kytkentäjohdot	4,0
- kiertovesijohdot	0,5–1,0
Lämminvesijohdot	
- jakojohdot	3,0
- kytkentäjohdot	3,0
Ilmastointikanavat	
- kytkentäkanavat	1,5–3,0
- haarakanavat	2,0–5,0
- runkokanavat	3,0–7,0

Nykyaikainen ajattelu mitoitukselle on suunnitella johdot ja kanavat väljiksi sekä pääteelimet ja säätölaitteet tiukoiksi. Tämä mahdollistaa myös suhteellisen helpon verkoston laajentamisen myöhemmin. Suunnittelua ohjaavat mitoituksen ja tasapainotuksen helppous, matalat äänitasot sekä virtaustekninen stabiilius. [7]

Putkiston sijoittelussa huomioitavia asioita:

- Mahdollisimman lyhyet johtoreitit
 - Hankintakustannuksiltaan edullinen ratkaisu
- Tilantarpeen asettamat rajoitukset
 - LVI-nousukuilut
 - Huonekorkeus
- Virtaustekniikan huomioon otto
 - Kannattaa pyrkiä mahdollisimman symmetrisiin ja toistuviin rakenteisiin (Pascalin laki)
- Huollettavuus ja korjattavuus
 - RakMK osa D1
 - Laitteisiin, venttiileihin yms. putkistovarusteisiin on päästävä käsi
- Palotekniikka
 - Osastoivien rakenteiden lävistyksen
- Äänitekniikka
 - RakMK osa C1.
 - Virtausmelu
 - Pumppujen ja puhaltimien värinä
- Ulkonäköseikat
 - Näkyvissä vai piilossa. [7; 17; 21.]

3.2 Ilmanvaihto

Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa C2, D2 ja C3 on asetettu määräyksiä rakennuksen sisäilmastolle ja ilmanvaihdolle ja osassa E7 on määräyksiä ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuuteen liittyen. Korkeissa rakennuksissa luonnollisesti myös hissikuihut ovat korkeita, ja hissitilojen ilmanvaihdon tarkempaa suunnittelua käsittelee LVI-ohjekortti LVI 30-10468. [18; 19; 22; 24; 27.]

Rakennuksen tiiveys ja painesuhteet ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat rakennuksen ilma- virtauksiin. Ilma ja siinä oleva vesihöyry virtaavat korkeammasta paineesta matalampaan. Tämä johtaa rakennustekniikan kannalta LVI-suunnittelussa siihen, että rakennus pyritään pitämään noin 5–10 Pa alipaineisena ulkoilmaan nähden. Alipaineistuksella pyritään välttämään rakenteisiin muodostuva pitkäaikainen kosteusrasitus. Alipaine ei saa olla yli 30 Pa, koska tällöin alkavat jo ovien avaamiset/sulkemiset hankaloitua ja hallitsemattomat vuotoilmavirrat lisääntyvät. Rakennuksen sisäiset painesuhteet suunnitellaan siten, että ilma siirtyy puhtaammista tiloista epäpuhtaampiin, esim. makuuhuoneesta pesuhuoneeseen. Rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välinen paine-ero riippuu pitkälti valitusta ilmanvaihtojärjestelmästä, sekä sen tehokkuudesta ja säädöistä. Kuvassa 5 on esitetty kolme yleisintä ilmanvaihtojärjestelmää periaatteineen. [3; 9.]

Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysoppaassa esitetään paine-erotavoitteet eri ilmanvaihtotavoille, jotka nähdään taulukossa 2 [14].

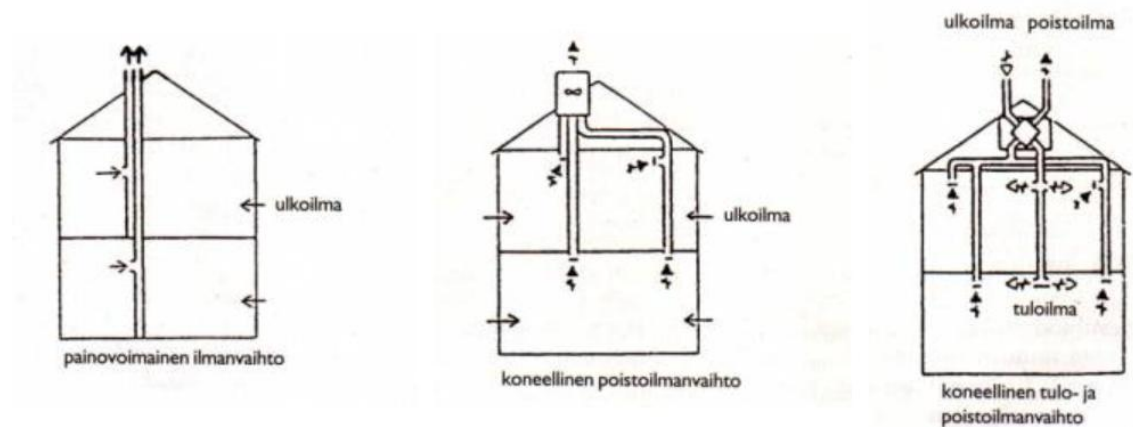
Taulukko 2. Tavoitteelliset paine-erot rakennuksessa [3; 14].

Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen ilmanvaihto	0...–5 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen poistoilmanvaihto	–5...–20 Pa ulkoilmaan 0...–5 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, tuloilman lämmitys	0...–2 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan

Rakennukseen pyritään saamaan halutut painesuhteet ottamalla suunnittelussa huomioon kolme painesuhteisiin vaikuttavaa seikkaa:

- ilmanvaihto
 - painovoimainen ilmanvaihto
 - koneellinen poistoilmanvaihto

- koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto
- ilman lämpötilaerot
 - hormivaikutus
- tuuli
 - ylipaine tuulenvastaisella seinällä, ja alipaine tuulensuojaisella sekä tuulensuuntaisella seinällä
 - lyhytaikainen. [9]



Kuva 5. Ilmanvaihdon ratkaisut [9].

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroihin ja tuulen vaikutukseen. Tätä ilmiötä kutsutaan savupiippu- eli hormivaikutukseksi. Tämä ilman tiheyseroista aiheutuva käyttövoima on varsin pieni ja vahvasti riippuvainen lämpötilaeroista. Tämä johtaakin yleensä siihen, että järjestelmä toimii hienosti talviaikaan mutta ei ollenkaan kesällä, kun lämpötilaerot tasaantuvat. Painovoimainen ilmanvaihto alkaa olla nykyisille sisäilmavaatimuksille riittämätön ja vanhanaikainen ratkaisu ja lisäksi korkeassa rakentamisessa erityisen haasteellista, sillä mm. tuulen nopeus vaihtelee korkeissa rakennuksissa alimman ja ylimmän kerroksen välillä huomattavasti.

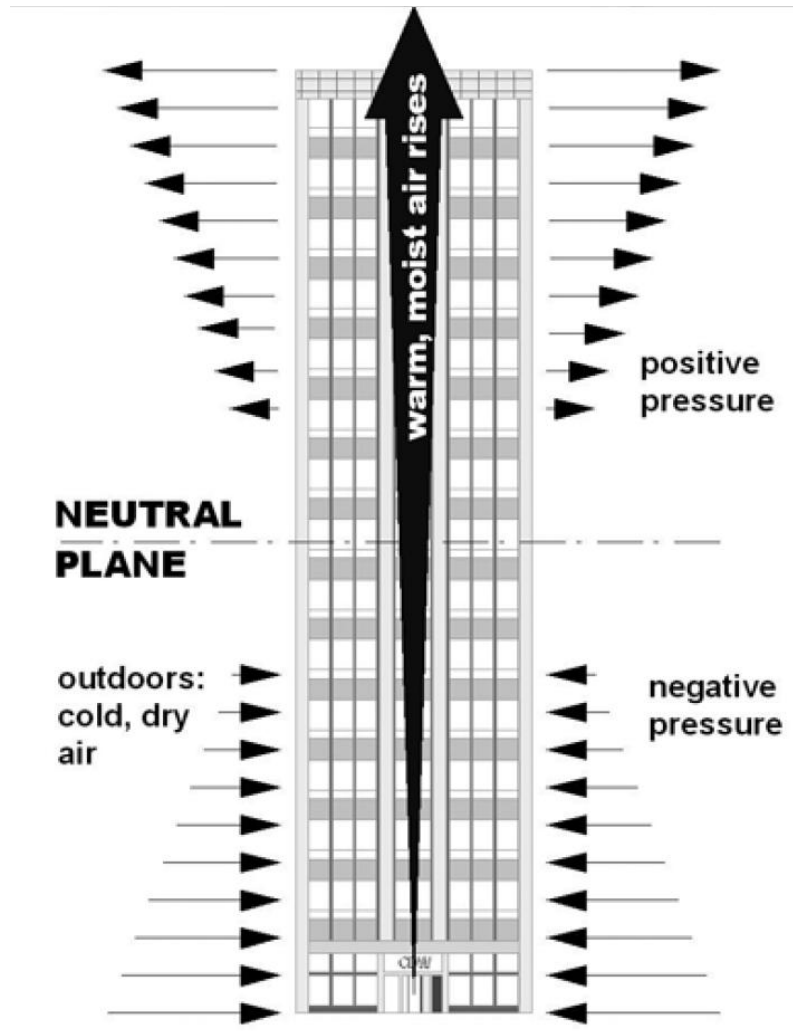
Koneellinen poistoilmanvaihto on askel eteenpäin painovoimaisesta järjestelmästä. Poistoilmakoneella saadaan jo isonkin rakennuksen painesuhteet ja ilmamäärät paremmin hallintaan, mutta hallittu korvausilman tuonti on syytä muistaa. Mikäli korvausilma-aukot ovat tukkeutuneet tai riittämättömät, voi alipaine rakennuksen sisällä muodostua liian suureksi, ja korvausilmaa alkaa virrata hallitsemattomasti esimerkiksi ala-

pohjarakenteen ja muiden vuotokohtien kautta. Tästä voi seurata mm. mikrobien ja muiden epäpuhtauksien ja hajujen leviämistä rakennukseen sekä vedon tunnetta.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto mahdollistaa tarkan painesuhteiden suunnittelun ja tiiviin vaipan rakentamisen rakennukseen. Kokonaisvaltaisen koneellisen ilmanvaihdon etuna on myös tuloilman suodatus sekä lämmöntalteenotto poistoilmasta. Tuloilman suodatus tuo mukavuutta asumiseen ja elämiseen, varsinkin allergiaoireista kärsiville, siitepölyn ja katupölyn jäädessä suodattimeen. Korkeassa asuinkerrostalossa painesuhteet tulisi suunnitella siten, että kaikki asunnot pysyvät aina joko ali- tai ylipaineisena porraskäytävän paineen suhteen. Tällä estetään hajujen leviäminen alemmista asuinhuoneista porraskäytävän kautta ylempiin huoneistoihin. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa on suositeltavaa pitää molemmat puhaltimet yhtä aikaa ja ympäri vuorokauden päällä, mikä onkin asuinkerrostalossa yleensä tapana. Tällä varmistetaan painesuhteiden pysyminen aina suunnitellun kaltaisina. Nykyään ilmanvaihto suunnitellaan pääsääntöisesti koneelliseksi, koska sillä saavutetaan hyvä sisäilman laatutaso, niin puhtauden, sopivan lämpötilan kuin ilman vaihtuvuudenkin suhteen. [6; 9.]

Tornitalon ilmanvaihdon suunnittelussa on pääsääntöisesti kaksi lähestymistapaa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa on yksi konehuone palvelemaan useita kerroksia ja toisessa vaihtoehdossa joka kerroksella on oma konehuoneensa. Näiden vaihtoehtojen merkittävin ero tulee niiden vaatimasta tilantarpeesta. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kerroksista vievät kallisarvoista pinta-alaa vain kanavien nousukuilut, kun taas toisessa vaihtoehdossa jokaiseen kerrokseen tulisi huomattavasti tilaa vievä konehuone. Kerroskohtainen konehuone toisaalta mahdollistaa sen, että rakennuksen alimpia kerroksia voidaan ottaa käyttöön sitä mukaa kuin ne valmistuvat, vaikka rakentaminen ylemmissä kerroksissa vielä jatkuu. Käytäntö on osoittanut, että korkeassa rakennuksessa ullakolla sijaitsevalla yhdellä IV-konehuoneella pystyy järkevästi palvelemaan korkeintaan 20–24:ää kerrosta. Mikäli konehuoneen voisi sijoittaa rakennuksen puoliväliin niin saottuihin tekniikkakerrokseen, sillä voisi palvella teoriassa jopa 40–48:aa kerrosta. Akustiikan ja estetiikan kannalta konehuone sijoitetaan alle 20 kerroksen rakennuksissa yleensä ylimpään kerrokseen. [5]

Ilman lämpötilaerot synnyttävät hormivaikutuksen, jonka vaikutus kasvaa rakennuksen korkeuden kasvaessa. Kuvasta 6 nähdään, kuinka lämpötilaero vaikuttaa painesuhteisiin tasatiiviissä rakennuksessa ulkoilman ollessa sisäilmaa viileämpää.



Kuva 6. Hormivaikutus tornitalossa [12].

Hormivaikutuksessa ominaista on neutraalitaso, jossa siis paine-ero ulko- ja sisäilman välillä on 0 Pa. Tämä neutraalitaso korkeus ei välttämättä ole juuri korkeuden puolivälissä, vaan riippuu mm. seinässä olevien aukkojen sijainnista. Neutraalitaso sijainti olisi hyvä selvittää, jotta voidaan suunnitella ilmanvaihto toimimaan sen ylä- ja alapuolisissa kerroksissa oikeissa painesuhteissa.

Lämmin ilma nousee kylmää ilmaa kevyempänä ylös. Nämä tiheyserot aiheuttavat paine-eron, jonka suuruuden voi laskea kaavasta 2.

$$\Delta p = \Delta p_{gh} \quad (2)$$

jossa

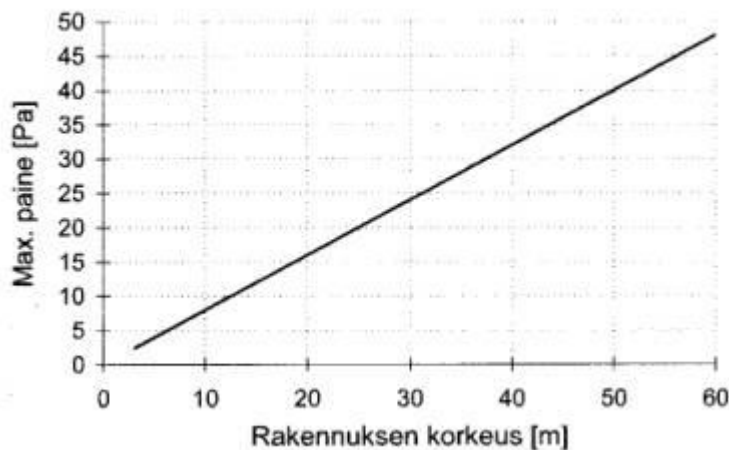
Δp on painovoiman aikaansaama paine-ero, Pa

$\Delta \rho$ tiheysero järjestelmän alku- ja loppupisteen välillä, kg/m^3

g putoamiskiihtyvyys = $9,81 \text{ m/s}^2$

h vaikuttava korkeusero, m

Kuvan 7 esimerkissä sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ja rakennuksen ulko-ovi on alhaalla auki. Savupiippuvaikutus kasvaa vapaan ilmatilan kasvaessa, mikä tuo oman lukunsa myös rakennesuunnitteluun. Paineennousu on merkittävä, ja tilan yläosissa rakenteisiin kohdistuu varsin merkittävä kosteusrasitus. Jos kyseessä olisi asuin-kerrostalo, voisi ilma virrata esimerkiksi postiluukuista yläkerrosten asuintiloihin ja ylipaineistaa ne, jolloin tiloissa voisi esiintyä ummehtunutta hajua ja huurtuvia ikkunoita. Julkisissa korkeissa rakennuksissa, joissa ulko-ovista kulku on runsasta, on yleensä tuulikaappi tai pyöröövet, joilla hallitaan ilmavirtoja ja painesuhteita sekä saavutetaan parempi lämpötalous. [6]



Kuva 7. Hormivaikutuksen aiheuttama ylipaine korkeuden suhteen [9].

Tuuli vaikuttaa painesuhteisiin yleensä vain hetkellisesti, mutta se kannattaa tornitalon suunnittelussa ottaa huomioon, varsinkin mikäli rakennus tulee luonnostaan tuuliselle paikalle. Tuuli aiheuttaa sen vastaiselle pinnalle ylipainetta sekä suuntaisille ja suojaisille pinnoille alipainetta. Tuulen vaikutus nykyaikaisille tiiviille rakennuksille on pienempi

kuin vanhemmille, painovoimaisella tai koneellisella poistoilmanvaihdoilla varustetuille rakennuksille. [9]

Tuulesta rakenteen yli aiheutuvan paine-eron voi laskea kaavasta 3. Rakennuksen seinien muotokertoimet riippuvat seinän sijainnista, suhteessa tuulen suuntaan.

$$D_p = (m_u - m_s) [(rv^2)/2] \quad (3)$$

jossa

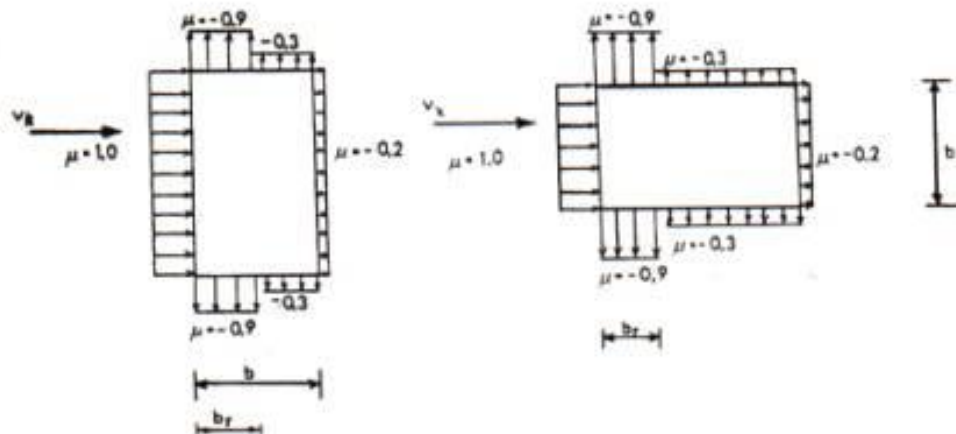
D_p paine-ero, Pa

m_u rakenteen ulkopuolinen muotokerroin, ks. kuva 8

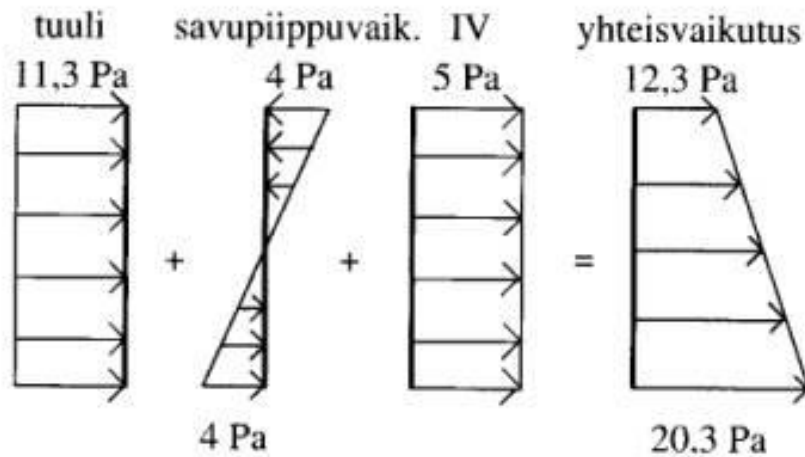
m_s rakenteen sisäpuolinen muotokerroin, yleensä $-0,3$

r ilman tiheys, kg/m^3

v tuulen nopeus, m/s

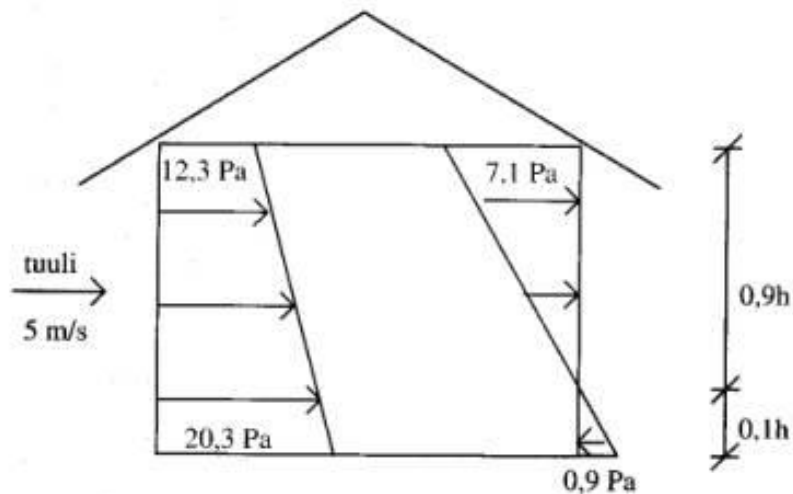


Kuva 8. Rakennuksen ulkoseinien muotokertoimia paine-erolaskentaa varten [9].



Kuva 9. Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon aikaansaama yhteisvaikutus tuulenpuoleisen ulkoseinän painesuhteisiin. [9]

Kuvan 9 esimerkissä tasainen tuuli aiheuttaa ulkoseinään ylipaineen, savupiippuvaikutus saa aikaan sille tyypillisen neutraalitason omaavan painejakauman ja ilmanvaihto tasaisen alipaineen.



Kuva 10. Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon aiheuttama painejakauma rakennuksessa [9].

Kuvasta 10 nähdään näiden kaikkien osatekijöiden yhteisvaikutus. Yhdessä nämä tekijät tekevät esimerkkitalon tuulenpuoleiselle sisäseinälle alipaineen, ja suojaiselle seinälle ylipaineen, joka kattaa 90 % seinän pinta-alasta. Kaavalla 3 voidaan halutessa las-

kea tuulen vaikutus painesuhteisiin tarkemmissa tutkimuskohteissa seinäkohtaisesti. Käytännössä tuulen merkityksen laskeminen on kuitenkin vain likimääräistä. [9]

Liitteessä 1 on esitetty esimerkkinä Leppävaaran tornitalon IV-ratkaisu. Leppävaaran Torni on yksi Suomen korkeimmista asuinrakennuksista, korkeudeltaan 68 metriä ja 21 kerrosta. Torni sijaitsee Espoossa, ja se valmistui vuonna 2010. Tornin ullakkokerroksessa on kaksi eri paineilla toimivaa ilmanvaihtokonetta, joista toinen palvelee alempia ja toinen ylempiä kerroksia. Rakennuksen alempia kerroksia palveleva kone tuottaa 500 Pa kanavapainetta ja ylempiä kerroksia palveleva 250 Pa. Ilmanvaihtojärjestelmä säättää ja pitää kanavapainetta vakioituna. Ilmanvaihtokanavat on nostettu niitä palvelevista kerroksista paloeristettynä ylempään kerrokseen ja siitä edelleen runkokanavaan. Tämä ratkaisu on mahdollistanut painehäviötä ja huolto/tarkastuspisteitä lisäävien palopeltien jättämisen pois kanavistosta. Ennen asuntoa on haarakanavassa ilmamääräsäädin huolehtimassa vakioidusta ilmamäärästä asuintiloihin. [28]

3.3 Käyttövesi

Käyttövesi ja viemäriputkistojen kytkennät, kulmat, kallistukset, putkikoot ja suunnanmuutokset tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaisesti. Viemäreiden asennuksessa noudatetaan muun muassa LVI-ohjekorttien LVI 12-10370 ja LVI 20-10348 mukaisesti. Suunnittelussa on myös noudatettava ääneneristystä ja meluntorjuntaa käsittelevää Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa C1. [21; 25; 26.]

Korkean rakennuksen käyttövesiverkoston suunnittelu eroaa matalasta rakennuksesta ensisijaisesti korkeudesta ja avoimesta putkistosta johtuvan hydrostaattisen paineen vuoksi. Avoin järjestelmä vaatii korkeissa rakennuksissa pumpulta suurta nostokorkeutta. Alimmat kerrokset voidaan yleensä palvella kunnallisesta vesiverkostosta saatavalla paineella ilman ongelmia, mutta ylempiä kerroksia varten on rakennettava paineenkorotuslaitteistoja. Paineenkorotusasemien määrä riippuu halutusta käyttöpainesta sekä rakennuksen kerrosmäärästä. Paineenkorotusasemat voidaan korkeissa rakennuksissa sijoittaa mahdollisiin tekniikkakerroksiin, esim. IV-konehuoneen kanssa. Näin saadaan rakennusta palvelevat eri tekniikat keskitettyä tiettyihin kerroksiin helpottamaan ja yksinkertaistamaan huoltotoimenpiteitä.

Käyttövesiverkoston, jossa on esimerkkinä yksi paineenkorotusasema pohjakerroksessa kattamassa ylimmän kerroksen paineet, ja paineenalennusventtiilit alemmissa kerroksissa, mitoitusta käsitellään seuraavaksi [13]:

Suunnittelu alkaa selvittämällä vesihuoltolaitokselta paine tonttivesijohdon liitoskohdassa. Johdosta saatava paine voi vaihdella esimerkiksi välillä 650...825 kPa vuodenajasta ja virtaamasta riippuen. Putkistojen kulumiselle, mahdollisille muutoksille ja tulevaisuuden laajennusten varalle kannattaa jättää n. 10 %:n varaus, joten käytetään laskennassa arvoa $650 \text{ kPa} \cdot 0,9 = 585 \text{ kPa}$. Seuraavaksi verkostossa häviää painetta takaiskuventtiileihin, vesimittareihin, suodattimiin sekä kitkapainehäviöihin esim. 70 kPa, ja verkoston peruspaineeksi jää 515 kPa. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1 määrää käyttämään paineenalennusventtiiliä, mikäli paine on vesimittarin jälkeen yli 500 kPa. Seuraavaksi on päätettävä ylimpään kerrokseen saatava paine vesikalusteelle. RakMK D1 määrää vesikalusteelle tarvittavan vähintään 150 kPa, ja mikäli verkostoon kytketään pikapaloposti, on paineen oltava sille vähintään 200 kPa. Tämä on verkoston

alaraja paineelle, johon on päästävä kauimmaisinkin vesikalusteen osalta. Seuraavaksi lasketaan korkeudesta johtuva staattinen paine, kaavalla 4.

$$p = \rho gh. \quad (4)$$

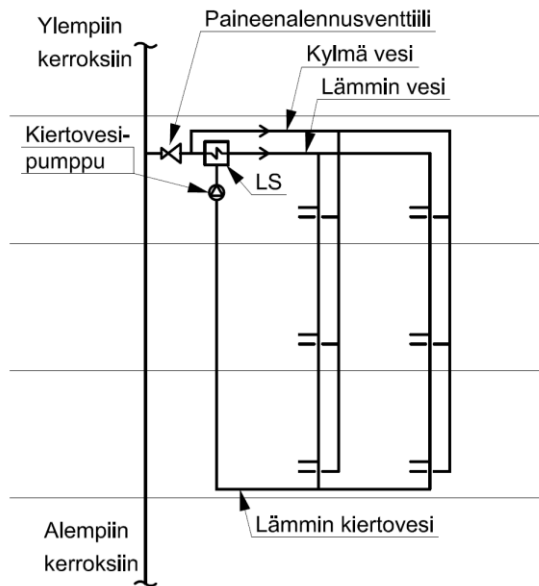
jossa

p	paine, Pa
ρ	nesteen tiheys, kg/m ³
g	putoamiskiihtyvyys = 9,81 m/s ²
h	vaikuttava korkeusero, m

Nyrkkisääntönä 1 metri vesipatsasta = 10 kPa. Esimerkiksi 45-kerroksisessa talossa staattinen paine voisi olla 1310 kPa. Tämän jälkeen lasketaan kitkapainehäviöt. Esi-merkin kerrostalossa sovitaan niiden olevan 70 kPa. Nyt voidaan laskea pohjakerroksen paineenkorotusaseman paineentuotto seuraavasti: ylimmän kalusteen painehäviö 200 kPa + staattinen paine 1310 kPa + kitkapainehäviöt 70 kPa = 1580 kPa. Vähennetään tuloksesta vesimittarin jälkeen käytettävissä oleva paine ja saadaan paineenkorotuksen tarve: 1580 kPa – 500 kPa = 1080 kPa. Alempien kerrosten verkostojen paineet saadaan alennettua käyttökelpoiselle tasolle käyttämällä paineenalennusventtiilejä. [13]

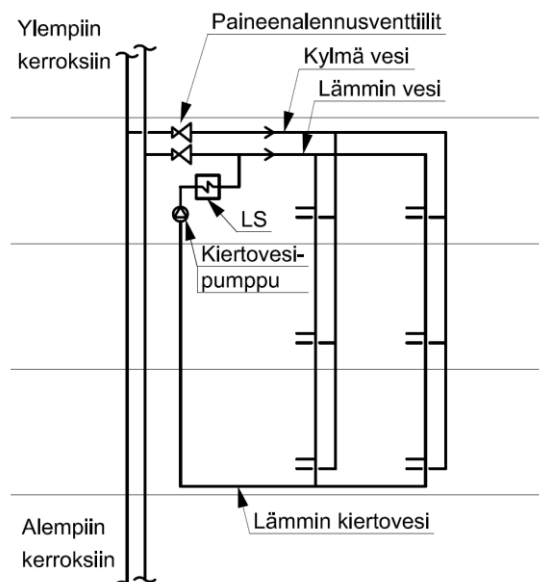
Tämän yhteisen nousulinjan komponentit ja materiaalit tulee olla paineenkestoltaan riittävät. Alin paineenkorotusasema kannattaa mahdollisuuksien mukaan sijoittaa korkeussuunnassa vasta siihen kerrokseen, jossa paine käy riittämättömäksi. Tällä vältytään turhan suurelta paineenkorotukselta ja ylimääräisiltä paineenalennusventtiileiltä. Tavoitteena olisi pitää vesiverkoston paine alle 500 kPa:n rajoissa.

Kuvassa 11 on esimerkin mukainen yhteinen nousujohto kylmälle vedelle, josta vesi saadaan paineenalennusventtiilillä jaettua suunniteltuihin osastoihin. Osastojen tekniikkakerroksissa on myös lämmönsiirrin sekä lämpimän veden kiertopumppu, joilla saadaan lämpimän veden valmistus ja kierto hoidettua.

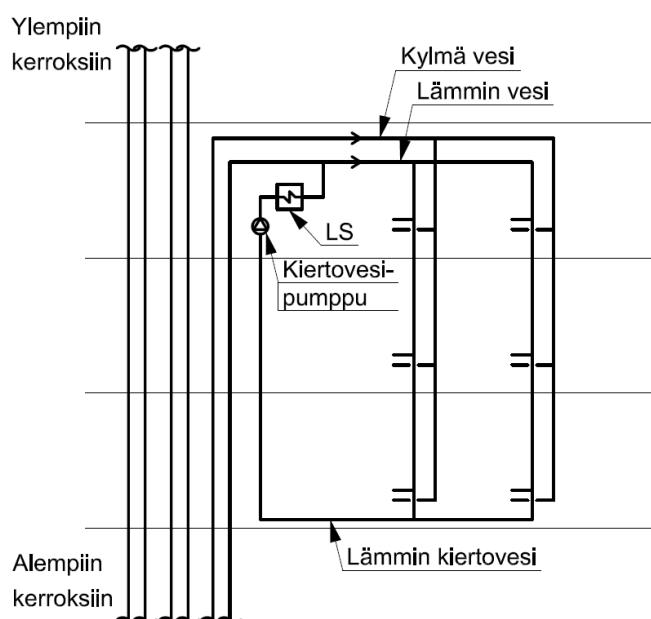


Kuva 11. Ratkaisu jossa ainoastaan kylmä vesi nostetaan korkeassa paineessa nousukuilussa, ja verkostoissa on omat paineenalennusventtiilinsä, lämmönsiirtimet ja kiertopumput.

Kuvan 12 mukainen vaihtoehto on valmistaa sekä kylmä että lämmin vesi alimman kerroksen lämmönjakohuoneessa. Tällöin putkinousuja tulee lisää, mutta toisaalta lämpimän veden valmistukseen tarvittava lämmönsiirrin jää ylemmistä tekniikkakerroksista pois, ja tilalle tarvitaan vain pienempi lämmönsiirrin pitämään lämpimän kiertoveden lämpötila rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaisena.



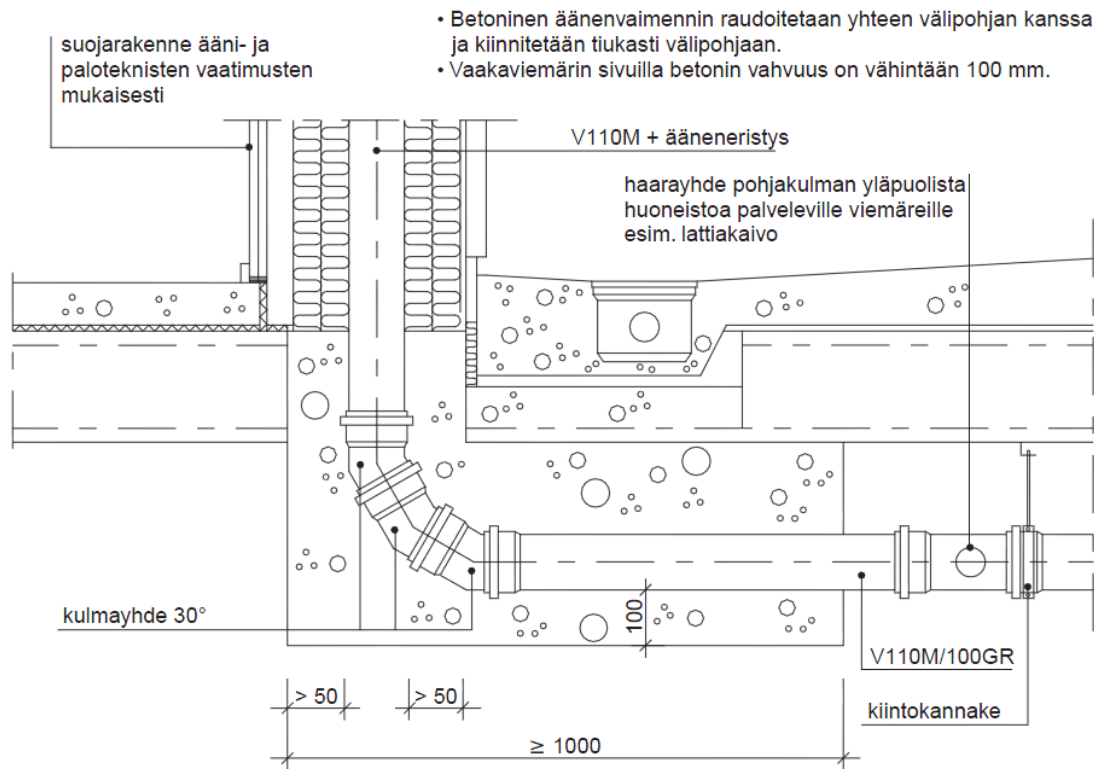
Kuva 12. Ratkaisu jossa kylmä ja lämmin vesi tuodaan nousukuilussa, ja jokaisella pienemmän paineen verkostolla on oma lämpimän veden kiertopiirinsä [12].



Kuva 13. Ratkaisu jossa jokaisella väliverkostolla on oma pumppunsa [13].

Kuvan 13 tyyliässä ratkaisussa on kellarin lämmönjakohuoneessa jokaiselle eripaineeselle osastolle/verkostolle oma taajuusmuuntajalla varustettu pumppunsa sekä yksi yhteinen pumppu, joka on kytketty normaalisti kiinni olevilla sulkuventtiileillä jokaiseen järjestelmään. Tällä ylimääräisellä pumpulla pidetään verkosto toimintakunnossa silloin kun kyseisen verkoston primäärinen pumppu on huollettavana. Tämänkaltaisen ratkaisun on todettu olevan energiataloudellinen, sillä painetta tuotetaan jokaiseen verkostoon vain tarvittava määrä, eikä yhtäkään paineenalennusventtiiliä tarvitse käyttää. Lisäksi se säästää kerroksista tilaa, koska sinne ei tule kuin pieni lämpimän kiertoveden pumppu sekä sen lämmönsiirrin. Haittapuolena tässä ratkaisussa ovat nousukuiluihin jokaiselle verkostolle tuotavat kylmän ja lämpimän veden putket. [13]

Viemäroinnissä ongelmaksi muodostuvat voimakasta ääntä aiheuttavat virtaushäiriöt, joita esiintyy viemäriin haaroissa ja mutkakappaleissa. Suurella nopeudella mutkakappaleisiin kohdistuvat törmäykset voivat repiä viemäriputkia ripustuksiltaan ja liitoksistaan sekä aiheuttaa ääniongelmia. Viemäreiden meluhaittojen ja liikkumisten välttämiseksi asennetaan pystyviemäristä vaakaviemäriin siirryttäessä $3 \times 30^\circ$:n putkikulmia tai vastaava yhtenäinen tehdasosa, joka valetaan suojabetoniin (kuva 14). [4; 25.]



Kuva 14. Pystyviemärin pohjakulman sijoittaminen betonisen alapohjan alapuolelle [25].

Sivuttaissiirtoja pystyviemäriässä tulisi välttää turhien ääni- ja virtausongelmien syntymisen vuoksi. Jätevesi saavuttaa maksimaalisen putoamisnopeutensa varsin nopeasti, joten korkeissakaan rakennuksissa putoamista hidastavilla sivuttaissiirroksilla tai pyörteillä ei saavuteta hyötyä. Tärkeää on huolehtia korkeiden nousujen riittävästä kannakoinnista ja hallitusta lämpölaajenemisesta.

3.4 Lämmitys

Lämmitysverkostojen mitoituksessa ja suunnittelussa noudatetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osia C3, C4 ja D5. Myös lämmitysjärjestelmien suunnittelussa on noudatettava ääneneristystä ja meluntorjuntaa käsittelevää Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa C1. [17; 19; 20; 23.]

Lämmönjakokeskuksen sijainti rakennuksissa valitaan yleensä mahdollisimman lähelle kohtaa, jossa kaukolämpöjohdot tulevat rakennukseen, sekä lähelle kulutuksen painopistettä, esimerkiksi nousulinjoja. Lämmitys usein myös halutaan ottaa käyttöön mahdollisimman pian, jopa rakentamisen aikana, joten yleensä lämmönjakokeskuksen sijoituspaikka ovat kellarikerrokset, koska ne ovat ensimmäisenä valmiita rakennuksessa. [11]

Vesi laajenee lämmitessään ja supistuu jäähtyessään. Lämmitysverkostossa tämä tilavuuden muutos on otettu huomioon asentamalla järjestelmään paisuntalaitteisto, johon vesi pääsee laajenemaan ja josta se jäähtyessään pääsee takaisin verkostoon. Paisuntajärjestelmiä on pääsääntöisesti kolmenlaisia: avoimet, suljetut ja pumppu- tai kompressorikäyttöiset. [10; 11.]

Avoin paisunta-astia sijaitsee ullakolla, jolloin vesipatsaan korkeus pitää järjestelmässä veden sisällä ja sopivassa paineessa. Avoimen paisunta-astian käytön huonoja puolia ovat herkkyys ruostumiselle, jäätymiselle, vesihöyrynä järjestelmästä haihtuva vesi sekä veteen pääsevä happi, joka syövyttää verkostoa. Avoimen paisunta-astian käyttöikä on 15...20 vuotta, ja se vaatii tarkastuksen 3 vuoden välein. Avoin paisuntajärjestelmä on ollut yleinen valinta varsinkin painovoimaisten sekä korkeudeltaan mittavien lämmitysverkostojen yhteydessä. [10; 11.]

Suljettu paisuntajärjestelmä eli kalvopaisunta-astia mahdollistaa paisuntalaitteiston sijoittamisen lämmönjakohuoneeseen, jossa ei ole samanlaista jäätymisvaaraa kuin ullakolla. Kalvopaisunta-astia ei myöskään ruostu eikä päästä happea järjestelmään tai vettä haihtumaan höyrynä järjestelmästä, kunhan verkostosta on poistettu ilma hyvin. Suljetulla paisunta-astialla varustetun järjestelmän ilmanpoistoon suositellaan käytettävän automaattista ilmanpoistinta. Kalvopaisuntasäiliö soveltuu järjestelmään, jossa

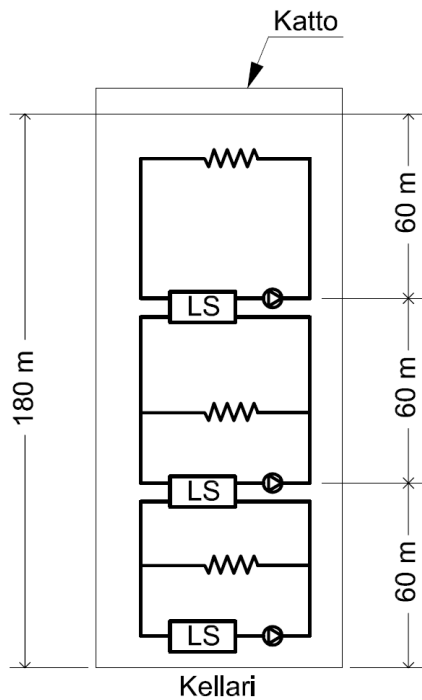
siihen kohdistuu korkeintaan 600 kPa:n paine. Kalvopaisunta-astian käyttöikä on 15...20 vuotta, ja se vaatii tarkastuksen 5 vuoden välein. [10; 11.]

Paisuntasäiliön sijoituspaikka vesikiertoisessa lämmitysverkostossa ja matalassa rakennuksessa on yleensä lämmönjakohuoneessa eli rakennuksen alaosassa. Tornitalon korkeudesta johtuva valtava vesipatsas lämmitysverkostossa voi nostaa paisunta-astian esipaineen tarpeen niin suureksi, että paisunta-astia kannattaakin sijoittaa ullakolle tai muuhun verkoston ylimpään kohtaan pienemmän esipaineen alueelle. Tällöin voidaan käyttää yhtä hyvin joko avointa tai suljettua paisuntalaitteistoa. [10]

Lämmitysverkoston kiertovesipumpun paikka on yleensä varsinkin matalissa rakennuksissa lämmönjakohuoneessa rakennuksen kellaritiloissa. Tornitalon lämmitysverkoston kiertopumppu kannattaa silti mahdollisuuksien mukaan sijoittaa paisuntalaitteiston kanssa verkoston yläosaan siellä vallitsevan kevyemmän staattisen paineen vuoksi. [5]

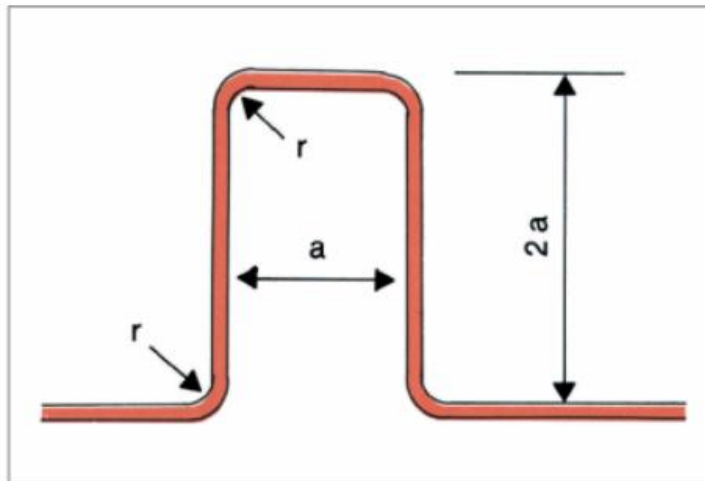
Korkeassa rakentamisessa lämmitysverkostojen mahdollinen jakaminen osastoihin riippuu rakennuksen korkeudesta ja putkiston paineenkestosta. Lämmitysverkoston heikoimpia lenkkejä ovat kattila ja patterit. Normaalisti pattereille on määritetty suurin mahdollinen paineenkesto, joka voi olla esimerkiksi 600 kPa. Tämä tarkoittaisi käytännössä maksimissaan 60 metriä korkeudeltaan kattavia verkostoja. Kuvassa 15 on esimerkki korkean rakennuksen lämmitysverkoston jakamisesta osiin. Pumppuja, lämmönsiirtimiä ja paisuntasäiliöitä tulee rakennukseen ratkaisun myötä enemmän, mutta putkistojen paineet pysyvät maltillisella tasolla. LVI-suunnittelijan olisi hyvä laskea jo projektin alkuvaiheessa eri ratkaisuvaihtoehtojen hankintakustannukset sekä pitkän ajan käyttökustannukset. [10]

Kuvan 15 mukaisessa ratkaisussa voidaan lämpöä tuoda esim. kaukolämmöllä kellarikerroksen lämmönsiirtimelle. Tämä verkosto lämmittäisi ensimmäiset kerrokset, sekä seuraavien kerrosten verkoston näiden verkostojen välisellä lämmönsiirtimellä. Tällaisessa ratkaisussa häviää lämpöä siirryttäessä ylöspäin verkostosta toiseen, mikä on otettava huomioon esim. patterivalinnoissa ja/tai virtaamissa ylöspäin siirryttäessä. [10]



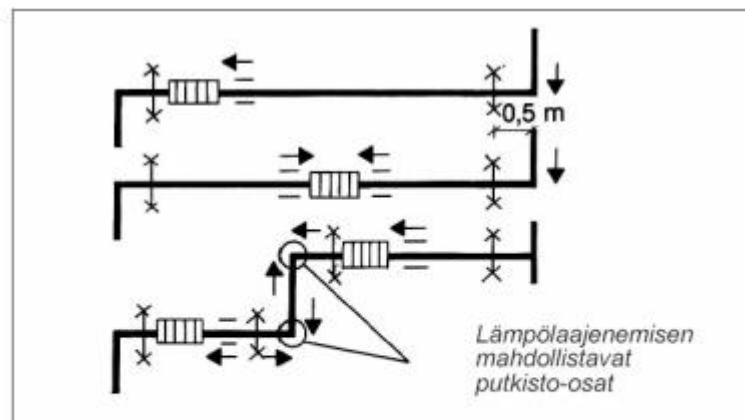
Kuva 15. Esimerkki lämmitysverkoston, ja siten staattisen paineen, jakamisesta osiin [5].

Korkeat putkinousut ja lämpötilanvaihtelut tuovat haasteita myös putkikannakoinnin sekä lämpölaajenemisen muodossa. Lämmitysverkostossa putkiston lämpötila voi muuttua esimerkiksi 20...70 °C:n rajoissa, talven ja kesän välillä. Tämä lämpötilan muutos aiheuttaa eripaksuisille putkille erilaisia lämpölaajenemisia, jotka luonnollisesti kasvavat putkipituuden kasvun myötä. Jo rakennusvaiheessa on huomioitava, että putkisto voi olla myös ulkoilman armoilla rakentamisvaiheen kestäessä pitkään. Ulkoilman lämpötilan vaihdellessa esimerkiksi välillä -25...+35 °C myös putkisto vaihtelee samoissa lämpötiloissa. Myös korkea betoninen rakennus lyhenee ajan myötä rakenteiden painuessa kasaan. Ajan myötä muutos voi olla 3 mm/kerros, mikä tarkoittaisi jo 50 kerroksen talossa 150 mm:n muutosta. Yleisin tapa antaa putkistolle joustovaraa, on tehdä siihen ylimääräisiä mutkia, käyttää paisuntakaaria tai ahtaan asennustilan tapauksessa käyttää paljetasainta. (Kuvat 16 ja 17.) [5; 16.]



Paisuntakaaren mitta a (mm)				
Putkien ulko- halkaisija mm	Lämpölaajeneminen mm			
	Alle 5	5...10	10...25	25...50
8...12	150	200	300	400
15...22	200	250	400	550
28...42	300	350	500	700
54...76,1	400	500	700	1000

Kuva 16. Kupariputken paisuntakaaren mitoitus [16].



- = paljetasain
- = kiintopiste
- = ohjauspiste
- = lämpölaajenemisen suunta

Kuva 17. Paljetasaimen asennusohje [16].

Lämpölaajenemisen ottavat yleensä vastaan mutkat, haarat sekä muuten joustavasti asennetut putkiosuudet. Korkeissa ja suorissa nousukuiluissa ei juuri luonnostaan tule mutkakappaleita, joten sinne on asennettava joko paljetasaimia tai paisuntakaaria. [16]

4 Yhteenveto

Monia muuttujia on otettava huomioon tornitalon lämmitys-, vesi- ja ilmastointisuunnittelussa, ja mahdollisia ratkaisuja on monentyyppisiä. Tärkeimpänä tekijänä suunnittelussa paineet ja painesuhteet muuttuvat järjestelmissä joka kerroksessa läpi rakennuksen, mikä pitää ottaa huomioon niin mitoituksessa ja säädöissä kuin myös laite- ja materiaalivalinnoissa.

Tornitalon rakentaminen vaatii eri alojen suunnittelijoiden sekä arkkitehdin väliltä erityisen tiivistä yhteistyötä heti projektin alusta loppuun saakka. Tällä varmistetaan ekologisesti ja taloudellisesti järkevimpien teknisten ratkaisujen löytäminen sekä tekniikoiden ja rakenteiden täydellinen yhteistoiminta, joilla saavutetaan pitkälle tulevaisuuteen toimiva kokonaisuus. Energiatehokkuus, tehokas tilankäyttö, taloudellisuus, estetiikka ja akustiikka ohjaavat projektia alusta loppuun merkittävinä tekijöinä.

Tämä insinöörityö koski vain LVI-järjestelmien tutkimista, joten selvittämättä jäi vielä sprinklerisuunnittelussa ja savunpoistossa esiintyvät ongelmat, vaikka ne talotekniikkaa sivuavatkin. Näiden järjestelmien täydellinen suunnittelu ja toimivuus, niin yksittäin kuin yhdessäkin, ovat hätätilanteessa varsin korostetussa asemassa tornitaloissa. Korkeus tuo haasteita pelastusviranomaisille sekä rakennuksesta pakeneville ihmisille. Jäähdytystä ei työssä myöskään käsitelty, mutta sen ongelmat ovat hyvin pitkälti samanlaiset lämmitysjärjestelmien kanssa.

Tämä insinöörityö antoi perustietoa siitä, mitä kaikkea taivasiin pyrkimiseen kuuluu ja mitä on otettava huomioon, mutta se jättää vielä tilaa jatkotutkimuksille muun muassa erilaisten teknisten vaihtoehtojen energiatehokkuuksien, kustannusten ja toimivuuden selvittämisen kannalta.

Lähteet

- 1 Saارينen, Sirkka. 2005. Suomessa tornitalo-statusen saa yli 12 kerroksella. *Betoni-lehti*, 2005, nro 4, s. 46 ja 47. Betoniteollisuus ry.
- 2 Tinkanen, Harri. 2005. As Oy Helsingin Cirrus. *Betoni-lehti*, 2005, nro 4, s. 38–42. Betoniteollisuus ry.
- 3 Seppänen, Kim. 2010. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. Verkkodokumentti. <http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-0056-2/urn_isbn_978-952-61-0056-2.pdf> Luettu 4.5.2012.
- 4 TalotekniikkaRYL 2002 Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1 ja Osa 2. 2003. LVI-Keskusliitto ry, Sähkötieto ry, Rakennustietosäätiö RTS. Rakennustieto Oy.
- 5 Ross, Donald E. 2004. HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- 6 Kangasaho, Matti. 2012. Käytä oikein talosi ilmanvaihtojärjestelmää. Verkkodokumentti. <<http://www.ilmastointimega.fi/koneilma2.shtml>> Luettu 7.5.2012.
- 7 Laiho, Esa-Matti. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. Mikkelin teknillinen oppilaitos. Lämmönsiirto- ja virtaustekniikka 1. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 8 Rakentamismääräykset. 2012. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. <www.ymparisto.fi/rakentamismaaraykset>
- 9 Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008. Sisäilmayhdistys. Verkkodokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/ilmavirtaukset_rakennuksessa> Luettu 13.5.2012.
- 10 Harju, Pentti. 2002. Lämmitystekniikan oppikirja. Penan Tieto-Opus Ky.
- 11 Rakennusten kaukolämmitys. 2004. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2003. Suomen Kaukolämpö ry. Lämmönkäyttötoimikunta.
- 12 NORR / SWEGON ACADEMY. 2011. Verkkodokumentti. <<http://www.swegonairacademy.com/wp-content/uploads/2012/01/Chris-Pal-110214.pdf>> Luettu 16.5.2012.
- 13 Beveridge, Jim. 2007. Domestic Water System Design for High-rise Buildings. Plumbing Systems & Design. Verkkodokumentti. <<http://www.scribd.com/doc/12632370/High-Rise-StructuresPlumbing-Design-Guidelines>> Luettu 16.5.2012.
- 14 Asumisterveysopas. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriö. Ympäristö- ja Terveyslehti.

- 15 Korkman, Seppo. 2012. Keilaniemen torniasunnot kiinnostavat jo satoja. Länsiväylä. 4.4.2012. Verkkodokumentti. <<http://www.lansivayla.fi/artikkeli/102090-keilaniemen-torniasunnot-kiinnostavat-jo-satoja>> Luettu 18.5.2012.
- 16 Kupariputken lämpölaajeneminen. 2012. Verkkodokumentti. <http://www.kupari.com/kopparror_fi/koppar/2004.html> Luettu 18.5.2012.
- 17 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa C1. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
- 18 Kosteus C2. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
- 19 Rakennusten lämmöneristys C3. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto.
- 20 Lämmöneristys C4. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
- 21 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot D1. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
- 22 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto D2. 2012. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto.
- 23 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta D5. 2007. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
- 24 Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus E7. 2004. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto.
- 25 Putkistojen ja kanavien kannakointi. 2004. LVI-ohjekortti 12-10370. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry.
- 26 Putkistojen asennus. 2004. LVI-ohjekortti 20-10348. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry.
- 27 Hissitilojen ilmanvaihto. 2010. LVI-ohjekortti 30-10468. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto ry.
- 28 Sainio, Sakari. 2010. Ilmastointitekniikka 1. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 29 Kallerna. 2009. Vuosaaren tornitalo. Wikipedia, Vapaa tietosanakirja. Verkkodokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Cirrus_%28tornitalo%29> Luettu 18.5.2012.
- 30 J-P Kärnä. 2005. Fortum Oyj:n pääkonttorirakennus, "Raaden Hammas", Espoon Keilaniemessä. Wikipedia, Vapaa tietosanakirja. Verkkodokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Fortumin_p%C3%A4%C3%A4konttori> Luettu 18.5.2012.

Tornitalon ilmanvaihdon esimerkkiperiaate

Leppävaaran tornitalon ilmanvaihdon jakoperiaate. Järjestelmässä on kaksi eri paineilla toimivaa ilmanvaihtokonetta joista toinen palvelee alempia ja toinen ylempiä kerroksia.

